

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ И УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ СТАЛИ 10Х3Г3МФ

Панов Д.О., Балахнин А.Н.

Руководитель – профессор, д.т.н. Симонов Ю.Н.

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, г. Пермь, Россия,
mto@pstu.ru

Сочетание операций холодной пластической деформации и термической обработки является эффективным способом диспергирования структуры и повышения уровня прочности и надежности конструкционных материалов. В данной работы представлены результаты исследования однородности свойств и изменения ударной вязкости низкоуглеродистой системнолегированной мартенситной стали 10Х3Г3МФ после различных режимов деформационно-термической обработки. Рассматриваются следующие виды обработки:

1. Закалка стали 10Х3Г3МФ с температуры горячейковки, с получением структуры пакетного мартенсита (далее по тексту "исходно закаленное состояние").

2. Холодная пластическая деформация (ХПД) методом радиальнойковки (РК) исходно закаленной стали 10Х3Г3МФ. Варьировали степень деформации: 20, 40, 60 % (далее по тексту "РК 20%", "РК 40%", "РК 60%").

3. Термическая обработка холоднодеформированной (РК 60%) стали 10Х3Г3МФ по следующим режимам: отжиг 550 °С, выдержка 1 час, охлаждение на воздухе ("РК60% + отжиг 550°С") и интенсивная (скоростная) термическая обработка – нагрев со скоростью 80-90 °С/сек в соляной ванне, выдержка 35 секунд, охлаждение в воде, температура нагрева 900 и 1000°С ("РК60%+нагрев 900°С", "РК60%+нагрев 1000°С").

Анализ распределения микротвердости (рис. 1) по сечению прутков стали 10Х3Г3МФ, подвергнутой ХПД 20%, 40% и 60%, показал, что микротвердость по сечению неоднородна: формируется сердцевина с максимальным уровнем твердости и периферия, где твердость плавно снижается к краю образца до уровня исходно закаленного состояния. Повышение степени деформации приводит к повышению общего уровня твердости. У боковой поверхности прутков наблюдается падение твердости, что, вероятно, связано с наличием обезуглероженного слоя.

После отжига на 550°С холоднодеформированной стали неоднородность распределения микротвердости сохраняется, но общий уровень твердости снижается: твердость сердцевины соответствует твердости исходно закаленного прутка, а на периферии – значительно ниже.

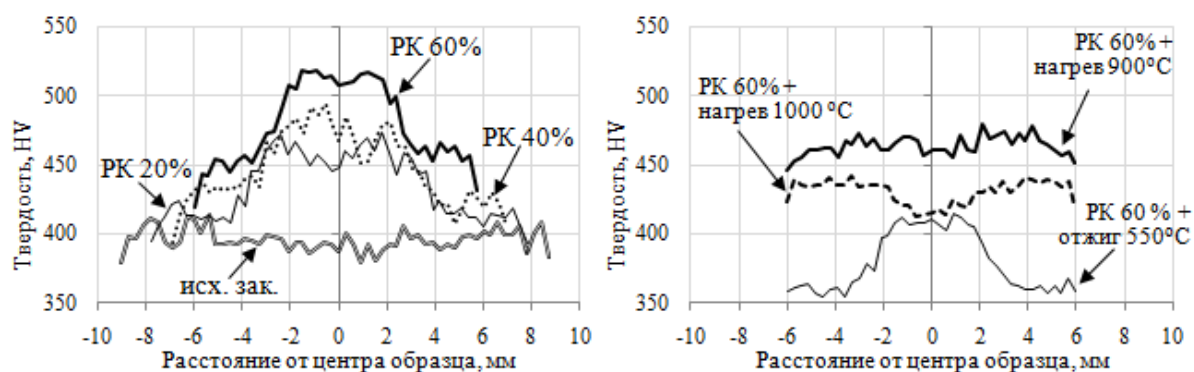


Рис. 1. Распределение микротвердости по сечению прутков стали 10Х3Г3МФ, подвергнутой различным режимам термической обработки.

Проведение интенсивной термической обработки с нагревом на 900 и 1000°С приводит к получению однородного распределения микротвердости по сечению образцов. Следует отметить, что после режима "РК60%+нагрев 900°С" снижается твердость только сердцевины до уровня значений микротвердости периферийной части прутка "РК 60%". При повышении температуры скоростной аустенитизации с 900 до 1000 °С твердость снижается в большей степени, что объясняется более интенсивным протеканием процессов собирательной рекристаллизации при 1000 °С, по сравнению с 900 °С. В обоих случаях общий уровень твердости выше, чем у исходно закаленного образца.

Результаты испытаний на ударный изгиб образцов с усталостной трещиной после различных режимов обработки стали 10Х3Г3МФ приведены в таблице:

Режим обработки стали 10Х3Г3МФ	КСТ, МДж/м ²
Исходно закаленное состояние	0,21
РК 60 %	0,55
РК 60% + отжиг 550°С	0,63
РК 60 % + однократный нагрев 900°С	0,91
РК 60 % + однократный нагрев 1000°С	1,15

ХПД 60% методом РК приводит к увеличению величины КСТ более чем в 2,5 раза относительно исходно закаленного состояния. Фрактографический анализ, проведенный при помощи растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50, показал, что излом исходно закаленной стали 10Х3Г3МФ (рис. 2, а) характеризуется развитыми областями боковой утяжки и плоской однородной по сечению областью в центре. Излом холоднодеформированной стали (рис. 2, б) имеет развитый рельеф сложного профиля, отражающий неоднородность материала, сформированную при радиальной ковке. На изломе присутствуют макроступеньки, которые сформировались при изменении направления движения трещины на границах зон прутка с разной твердостью. Области утяжки в данном случае выражены слабо.

Отжиг 550 °С приводит к релаксации остаточных деформационных напряжений холоднодеформированной стали и развитию процессов полигонизации и рекристаллизации, что вызывает рост величины КСТ до значений 0,63 МДЖ/м². Излом образцов (рис. 2, в), обработанных по режиму РК 60% + отжиг 550°С, так же отражает неоднородность материала по сечению образца, проявляющуюся и в распределении микротвердости, но имеет более развитую поверхность, по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

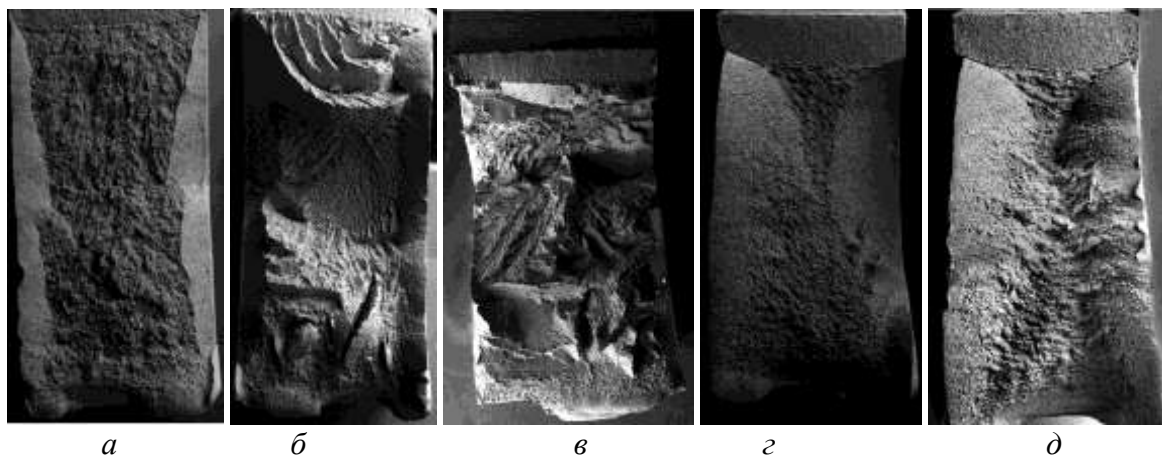


Рис. 2. Изломы стали 10ХЗГЗМФ после испытаний на КСТ, х8: а – в исходно закаленном состоянии; б – ХПД 60% методом РК; в – РК 60% + отжиг 550°С; г – РК 60 % + однократный нагрев 900°С; д – РК 60 % + однократный нагрев 1000°С.

После однократного скоростного нагрева 900°С холоднокованой стали формируется высокодисперсная структура, в результате чего происходит резкое повышение ударной вязкости: величина КСТ возрастает более чем в 4 раза, по сравнению с исходно закаленным состоянием. Излом такой стали (рис. 2, г) не наследует характер макрорельефа от холоднодеформированного состояния, отличается однородностью и практически полностью состоит из областей боковой утяжки и донного выбега трещины.

Значения ударной вязкости КСТ стали 10ХЗГЗМФ после обработки по режиму "РК 60 % + однократный нагрев 1000°С" самые высокие (более в 5,4 раза выше значений исходно закаленного состояния), но близки к уровню этой же стали после однократного нагрева на 900 °С. Анализ изломов после испытаний на КСТ (рис. 2, д) выявил преимущественно вязкий излом с более развитыми, чем после нагрева на 900 °С, боковыми утяжками.